(E) ISSN: 3030-3214
Volume 2, № 4-1
2024

UO‘K: 547 10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.28

PROPANNI KATALITIK AROMATLASh UChUN TANLANGAN KATALIZATORLARNING FIZIK-KIMYOVIY VA KATALITIK XARAKTERISTIKALARI

Nomozova Sadokat Iskandar qizi
Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti stajyor o‘qtuvchisi, Qarshi, O‘zbekiston

Fayzullaev Normurod Ibodullaevich
Samarqand davlat unversiteti professori t.f.d., Samarqand, O‘zbekiston

Hamidov Davron Ruzimurodovich
Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti dotsenti, Qarshi, O‘zbekiston

Raximov Ganisher Baxtiyorovich
Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti dotsenti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ishda propanni katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlarning fizik-kimyoviy va katalitik xarakteristikalari o‘rganilgan. Propanning konversiyasi 450℃ haroratda va 4 atm bosimda o‘rganildi. Suyuq va gazsimon jarayon mahsulotlari gaz-suyuqlik xromatografiyasi orqali 40 m uzunlikdagi SE-30 kapillyar kolonkalarida tashuvchi gaz sifatida geliy bilan tahlil qilindi. Rentgen ma’lumotlarini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, barcha sintez qilingan namunalar seolit tuzilmasiga ega. Bu strukturaviy turga mansub bo‘lmagan diffraksiya chizmalarida aks ettirishlar yo‘q, shuningdek, amorf aralashmalarning kuchli fon xarakteristikasi ham mavjud emas. Bularning barchasi olingan materiallarning yuqori fazali tozaligini ko‘rsatadi.* $2\%Cu * 2\%Zn/H-YUKS-30$ *namunasidan farqli o‘laroq,* $2\%Cu * 8\%Zn/H-YUKS-30$ *va* $8\%Zn/silikalitlarda$ *kristalli rux oksidi fazasining ko‘rinishi kuzatiladi.* $0{,}5-5\%\ ZnO$ *ni H-YUKS-30 bilan mexanik siljish yo‘li bilan bir qator namunalarni tayyorlash va* $2\theta = 36{,}4°C$ *bilan aks ettirish intensivligi va bu namunalardagi* ZnO *kristallarining tarkibi o‘rtasidagi korrelyatsiyani qurish imkon berdi. Ruxni o‘z ichiga olgan va kislotali yuqori kremniyli mezog‘ovakli seolitlarida propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tezligini taqqoslash rux bilan modifikatsiya qilish konversiyaning dastlabki bosqichlarida katalizator faolligini sezilarli darajada oshirishga olib kelishini ko‘rsatdi. Dastlabki tezliklar va kislota markazlari konsentratsiyasi o‘rtasida hech qanday bog‘liqlik topilmadi. Aksincha, Lyuis kislotasi markazlari soni bilan chiziqli korrelyatsiya kuzatildi. Shunday qilib, propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida asosiy rolni ruxni o‘z ichiga olgan L-markazlarida sodir bo‘lishini ko‘rsatdi.*

Kalit so‘zlar: *propan, katalizator, yuqori kremniyli seolit, modifikatsiyalash, konversiya, unum, selektivlik.*

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБРАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО АРОМАНИРОВАНИЯ ПРОПАНА

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 2, № 4-1
2024

Номозова Садокат Искандар кизи
преподавателя-стажера Каршинского инженерно-экономического института, Карши, Узбекистан

Файзуллаев Нормурод Ибодуллаевич
Профессор Самаркандского государственного университета, д.т.н., Самарканд, Узбекистан

Хамидов Даврон Рузимуродович
Доцент Каршинского инженерно-экономического института, Карши, Узбекистан

Рахимов Ганишер Бахтиёрович
Доцент Каршинского инженерно-экономического института, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В работе изучены физико-химические и каталитические характеристики катализаторов, выбранных для каталитической ароматизации пропана. Конверсию пропана изучали при температуре 450°C и давлении 4 атм. Жидкие и газообразные продукты процесса анализировали методом газожидкостной хроматографии в капиллярных колонках SE-30 длиной 40 м с использованием гелия в качестве газа-носителя. Анализ рентгеноструктурных данных показывает, что все синтезированные образцы имеют структуру цеолита. На дифрактограммах отсутствуют рефлексы, не относящиеся к данному структурному типу, а также отсутствует сильный фон, характерный для аморфных смесей. Все это свидетельствует о высокой фазовой чистоте полученных материалов. В отличие от образца* $2\%Cu * 2\%Zn/H-YUKS-30$ *в* $2\%Cu * 8\%Zn/H-YUKS-30$ *и* $8\%Zn/$*силикалитах наблюдается кристаллическая фаза оксида спирта. Удалось приготовить ряд образцов методом механического вытеснения* $0{,}5-5\%\ ZnO$ *с* $H-YUKS-30$ *и установить корреляцию между интенсивностью рефлекса при* $2\theta = 36{,}4°C$ *и составом кристаллов* ZnO *в этих образцах. Сравнение начальной скорости превращения пропана в ароматические углеводороды в спиртосодержащих и кислых высококремнистых мезопористых цеолитах показало, что модифицирование спиртом приводит к существенному повышению активности катализатора на начальных стадиях превращения. Корреляции между начальными скоростями и концентрацией кислотных центров не обнаружено. Напротив, наблюдалась линейная корреляция с числом льюисовских кислотных центров. Таким образом, показано, что на начальных стадиях превращения пропана в ароматические углеводороды основную роль играют L-центры, к которым относится спирт.*

Ключевые слова. *пропан, катализатор, высококремнистый цеолит, модификация, превращение, выход, селективность.*

PHYSICO-CHEMICAL AND CATALYTIC CHARACTERISTICS OF SELECTED CATALYSTS FOR CATALYTIC AROMANING OF PROPANE

Nomozova Sadokat Iskandar kizi
Teacher at Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi, Uzbekistan

Fayzullaev Normurod Ibodullaevich
Professor, Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan

Hamidov Davron Ruzimurodovich
Docent of Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi, Uzbekistan

Rakhimov Ganisher Bakhtiyorovich
Docent of Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *In the work, the physicochemical and catalytic characteristics of catalysts selected for catalytic aromatization of propane were studied. The conversion of propane was studied at a temperature of 450°C and a pressure of 4 atm. Liquid and gaseous process products were analyzed by gas-liquid chromatography in 40 m long SE-30 capillary columns with helium as the carrier gas. Analysis of X-ray data shows that all synthesized samples have a zeolite structure. There are no reflections in diffraction patterns that do not belong to this structural type, and there is also no strong background characteristic of amorphous mixtures. All these indicate the high phase purity of the obtained materials. In contrast to the* $2\%Cu * 2\%Zn/H-YUKS-30$ *sample, the crystalline spirit oxide phase is observed in* $2\%Cu * 8\%Zn/H-YUKS-30$ *and* $8\%Zn/silicalites$*. It was possible to prepare a number of samples by mechanical displacement of* $0.5-5\%\ ZnO$ *with* $H-YUKS-30$ *and establish a correlation between the reflection intensity at 2θ=36.4°C and the composition of* ZnO *crystals in these samples. A comparison*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 2, № 4-1
2024

of the initial rate of conversion of propane to aromatic hydrocarbons in spirit-containing and acidic high-silica mesoporous zeolites showed that modification with spirit leads to a significant increase in catalyst activity at the initial stages of conversion. No correlation was found between the initial velocities and the concentration of acid centers. On the contrary, a linear correlation was observed with the number of Lewis acid centers. Thus, it was shown that in the initial stages of conversion of propane to aromatic hydrocarbons, the main role is played by L-centers, which include alcohol.
Keywords: *propane, catalyst, high silicon zeolite, modification, conversion, yield, selectivity.*

Kirish. Uglevodorod zahiralarining kamayishi va yuqori sifatli motor yoqilg‘ilariga nisbatan talabning ortib borishi mavjud bo‘lgan benzin ishlab chiqarish jarayonlarini modernizatsiya qilishni talab qilmoqda. Metallar va ularning oksidlari bilan modifikatsiyalangan yuqori katalitik faollikka va unumdorlikka ega bo‘lgan uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlar neftni qayta ishlash va neft-kimyo sanoatida keng qo‘llaniladi. Katalitik jarayonlarning samaradorligi bog‘liq bo‘lgan mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolit uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlarining faollik va selektivlik xususiyatlari maqsadli mahsulot uchun muhim. Mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitlarda sodir bo‘ladigan jarayonlarning selektivlik muammosini hal qilish uchun ma’lum bir kimyoviy reaksiyada qaysi faol markazlar ishtirok etishini bilish va shu asosda uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlarning kislota-ishqor funksiyasini tartibga solish kerak. Mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitlarning katalitik faolligining asosiy omili Lyuis va Brensted kislota markazlari sonining optimal nisbati, ularning kuchi va $ZSM-5$ tipidagi mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitning tuzilishidagi nisbiy o‘rni, shuningdek, uning elektron holatining tuzilishi bilan bog‘liq. Mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitlarni o‘zgartirish uchun turli promotorlar qo‘llaniladi, ammo ular orasida eng samaralisi rux, galliy va platina birikmalaridir. Tarkibida rux saqlovchi mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitlar nisbatan arzonligi, yuqori faolligi va yengil alkanlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aylantirishdagi selektivligi bilan tadqiqotchilarda katta qiziqish uyg‘otmoqda. Qoida tariqasida, Zn o‘z ichiga olgan uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlar ion almashinuvi yoki $ZSM-5$ mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitining vodorod shaklini rux tuzlarining suvli eritmalari bilan singdirish, shuningdek, qattiq fazali aralashtirish usuli bilan tayyorlanadi. An’anaviy shimdirish texnologiyasidan foydalangan holda tarkibi o‘zgartirilgan mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitlar xususiyatlarni yaxshilashi mumkin, lekin bu uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlarda boradigan jarayon va iqtisodiy ko‘rsatkichlarni tubdan yaxshilamaydi, chunki ular bir qator xarakterli kamchiliklarga ega. Shu munosabat bilan, nisbatan og‘ir reaksiya sharoitida uzoq vaqt ishlay oladigan va jarayonni asosan maqsadli mahsulotni shakllantirishga yo‘naltiradigan katalizatorni ishlab chiqish uchun uni tayyorlashga boshqacha yondashuv zarur. Bu yo‘nalishdagi tadqiqotlar yangi katalitik tizimlar - kristall panjara ichiga turli elementlar o‘rnatilgan Fe, In, Ga va boshqalarga ega $ZSM-5$ mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolit strukturasining elementar aluminosilikatlarini yaratishga qaratilgan.

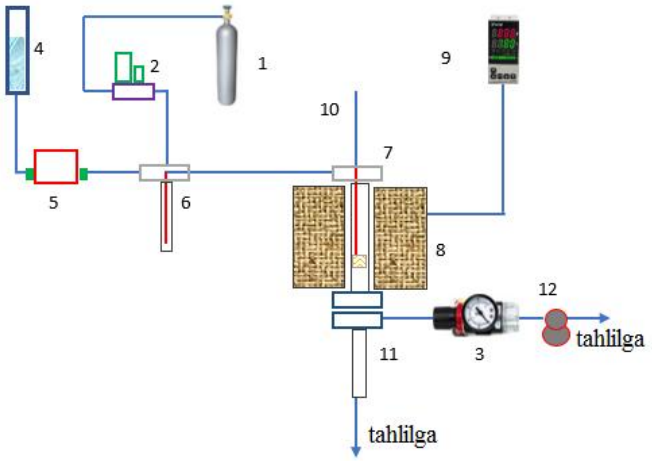
Bugungi kunda O‘zbekistonning iqtisodiy rivojlanishining muhim afzallik-laridan biri bu uglevodorod xom ashyosining katta zaxiralari mavjud bo‘lib, ulardan unumli foydalanishdir. Hozirgi vaqtda O‘zbekistonda va dunyoning boshqa mamlakatlarida bir qator kimyoviy mahsulotlarni sintez qilish va energiya maqsadlarida foydalanish uchun qimmatli xom ashyo bo‘lgan neft-yo‘ldosh gazini utilizatsiya qilish muammosi mavjud.

Ishning maqsadi – propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlarning fizik-kimyoviy xarakteristikalarini va ularning katalitik faolligini o‘rganishdan iborat.

Tajriba qismi. Katalitik tajribalar oqim

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 2, № 4-1
2024

tipidagi qurilmada amalga oshirildi (1-rasm). Tashuvchi gaz silindrdan (1) kelgan, oqim tezligi esa (2) da gaz oqimi boshqaruvchisi yordamida o‘rnatildi. Sistemadagi bosim regulyatori (3) tomonidan bosim bir xilda ushlab turilgan. Suyuq jarayonga kirishayotgan dastlabki moddalar idishdan (4) **suyuqlik oqimini nazorat qilish moslamasi** (5) yetkazib beriladi. Keyinchalik, xom ashyo va tashuvchi gaz bug‘latgichga (6) kiradi, u yerda xom ashyo gaz fazasiga o‘tkaziladi va jarayonni amalga oshirish uchun mo‘ljallangan reaktorga (7) yuboriladi. Katalitik tajriba po‘lat oqim tipidagi jarayonni amalga oshirish uchun mo‘ljallangan reaktorda o‘tkaziladi, u harorat sozlagichi (9) bilan pech (8) isitiladi.



1-rasm. Katalitik qurilmaning sxemasi.
1-metan saqlovchi idish; 2-gaz oqimini boshqaruvchi; 3-bosim regulyatori; 4-suyuq xom ashyo idishi; 5-suyuqlik oqimini nazorat qilish moslamasi; 6-bug‘latgich; 7-jarayonni amalga oshirish uchun mo‘ljallangan reaktor; 8-pech; 9-pechdagi harorat sozlagichi; 10-termoparani kuzatish; 11-yuqori bosimli separator; 12-dozator.

Propanni konversiya qilishda yuqori kremniyli mezog‘ovakli seolitlarning katalitik xossalari 1 dan $400\ s^{-1}$ gacha bo‘lgan dastlabki moddalarining sarflanish tezligi oralig‘ida va 450 °C haroratda va 4 atm bosimda o‘rganildi. Tarmoqlanmagan, normal tuzilishli-geksan, siklogeksan va gaz bug‘ kondensatining konversiyasi 400 °C va 10 atm haroratda o‘rganildi. Alohida uglevodorodlarni konversiya qilishda tashuvchi gaz sifatida azot (N_2: $xom\ ashyo = 2:1$); gaz kondensatini konversiya qilishda - metan (CH_4: $xom\ ashyo = 7:1$) ishlatilgan.

Jarayon mahsulotlarini tahlil qilish. Suyuq va gazsimon jarayon mahsulotlari gaz-suyuqlik xromatografiyasi orqali 40 m uzunlikdagi SE-30 kapillyar kolonkalarida tashuvchi gaz sifatida geliy bilan tahlil qilindi. Tahlil **Kristall 2000M** alanga-ionizatsion detektorli xromatografida o‘tkazildi. Xromatogrammalar “Xromatek Analitik” dasturiy-apparat majmuasi yordamida qayta ishlandi.

Eksperimental ma’lumotlarni qayta ishlash. Jarayonga kirishayotgan dastlabki moddalarning konversiyasi (Xr), tanlab ta’sir etuvchanligi (Sp) va mahsulot unumi (Yp) quyidagicha hisoblangan:

$$X_r = \frac{m_{maxsulot}}{m_{jarayonga\ kirishayotgan\ dastlabki\ modda}} \times 100\%$$

$$S_p = \frac{m_p}{m_{maxsulot}} \times 100\%$$

m_p – vaqt birligida olingan r mahsulot massasi.

$m_{maxsulot}$ – vaqt birligida hosil bo‘lgan barcha mahsulotlarning massasi.

$$Y_p = \frac{m_p}{m_{jarayonga\ kirishayotgan\ dastlabki\ modda}} \times 100\%$$

m_p – vaqt birligida olingan r mahsulot massasi.

$m_{jarayonga\ kirishayotgan\ dastlabki\ modda}$ - vaqt birligida sarflangan propanning massasi.

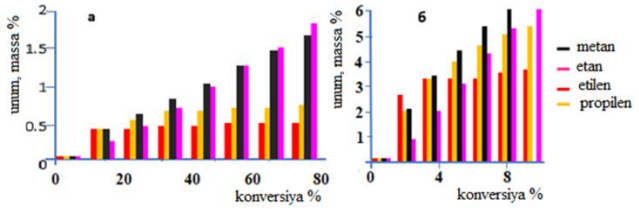
Jarayonga kirishayotgan dastlabki moddaning konversiya qilishning ta’sirlashish vaqtiga bog‘liqligini ifodalovchi kinetik egri chiziqlarning boshlang‘ich qismlarini grafik jihatdan farqlash orqali dastlabki jarayon tezligi aniqlandi. Ko‘p sonli tarkibiy qismlardan tashkil topgan gaz kondensatini tarkibini o‘zgartirganda, o‘ziga xos bo‘lgan har bir tarkibiy qismning dastlabki konversiyalari aniqlandi. Ikkinchisi ma’lum bir tarkibiy qismning dastlabki aylanish tezligining xom ashyodagi massa ulushiga nisbati sifatida hisoblangan. Dastlabki tanlab ta’sir etuvchanlikning (mol %) nol qiymatiga o‘tkazishga bog‘liqligini ekstrapolyatsiya qilish yo‘li bilan aniqlandi.

Tajriba natijalari va ularning muhokamasi. Kinetik bog‘liqliklarni tahlil qilish.

C_1-C_3 tarkibli uglevodorodlar. C_1-C_3 uglevodorodlari uchun unum konversiya grafiklari 1,2,4,5 va 6-rasmlarda keltirilgan. H-YUKS-30 holatida past konversiyalarda egri chiziqlar propanning aromatik uglevodorodlarga konver-

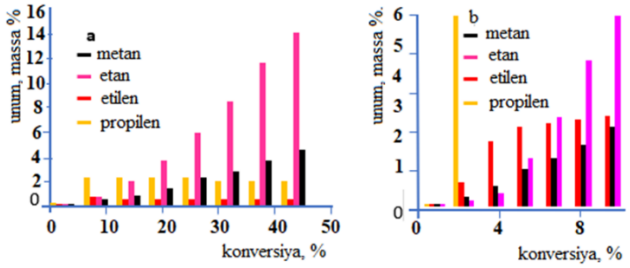
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 2, № 4-1
2024

siyasining asosiy mahsuloti sifatida metan, etilen va propilenni aniqlash imkonini beradi. Ushbu mahsulotlar uchun dastlabki tanlab ta'sir etuvchanlik nisbati (3-(a)rasm) ushbu katalizatorda propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida sodir bo'ladigan ikkita parallel jarayonni ko'rsatadi:



2-rasm. O'rta (a) va past (b) konversiyalarda propanni H-YUKS-30 tarkibli katalizatori ishtirokida konversiyalash jarayonida quyi molekulyar massali C_1-C_3 tarkibli uglevodorodlar uchun unumdorlik/konversiyaga bog'liqliklari

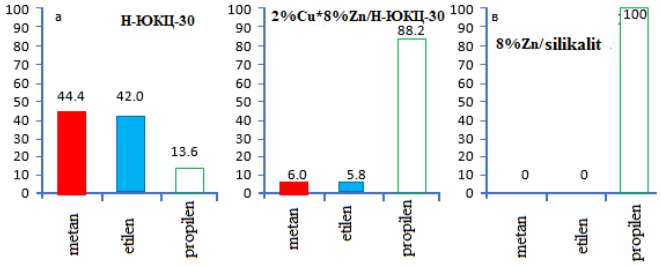
1) uglerod-uglerod bog'larining uzilishi bilan boradigan jarayon bilan metan va etilen hosil bo'lishi 2) propilen va vodorod hosil bo'lishi bilan degidrogenatsiya.



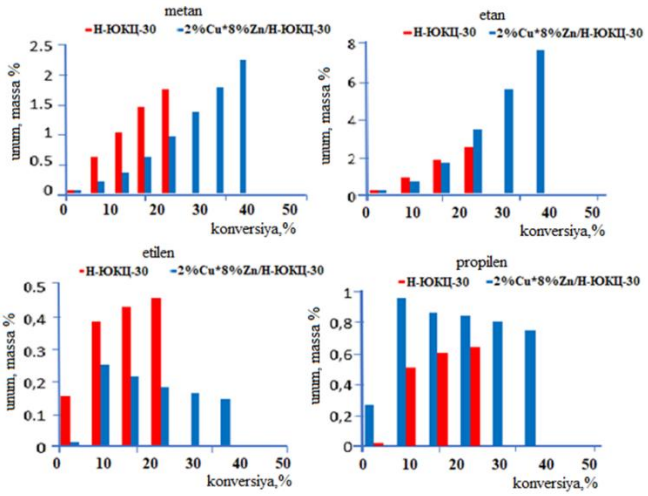
3-rasm. O'rta (a) va past (b) konversiyalarda propanning $2\%Cu*8\%Zn/H-YUKS-30$ tarkibli katalizatorishtirokida konversiyasida past molekulyar og'irlikdagi C_1-C_3 uglevodorodlar uchun unumdorlik/konversiyaga bog'liqliklari

Dastlabki bosqichda konversiya qilingan propanga uglerod-uglerod bog'larining uzilishi bilan boradigan jarayon va degidrogenatsiya jarayonlari hissalarining nisbati taxminan 3:1 ni tashkil qiladi (3-rasm). Bu qiymat propanning protolitik monomolekulyar mexanizm orqali H-YUKS-30 yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitining kislotasi markazlarida faollashishini ko'rsatadi, bu avvalroq olingan ma'lumotlar bilan yaxshi mos keladi. Konversiyaning kuchayishi bilan etan unumdorligining keskin o'sishi kuzatiladi.

H-YUKS-30 yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitining rux bilan modifikatsiyasi dastlabki transformatsiyalar sxemasini butunlay o'zgartiradi 4-rasm). Adabiyotlardan ma'lumki, uglevodorodlarning metall saqlovchi yuqori kremniyli mezog'ovakli seolit katalizatorlarida o'zgarishida degidrogenlanish va gidrogenoliz jarayonlari bir-biri bilan birga kechadi va bir xil katalitik markazlarda sodir bo'ladi. Xususan, propanni konversiya qilishda bunday ta'sir misni o'z ichiga olgan yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitlarda kuzatilgan.



4-rasm. $H-YUKS-30, 2\%Cu*8\%Zn/H-YUKS-30$ va $8\%Zn/silikalit$da propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tanlab ta'sir etuvchanliklari (%).



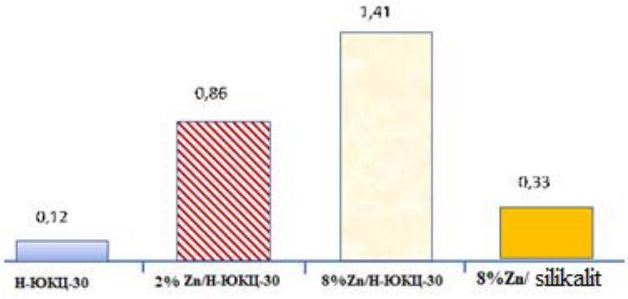
5-rasm. Propanni $H-YUKS-30$ va $2\%Cu*8\%Zn/H-YUKS-30$ lar ishtirokida aromatlash jarayonida past molekulyar uglevodorodlar C1-C3 uchun unum/konversiyaga bog'liqliklarni solishtirish

Faqat rux oksidi markazlarini o'z ichiga olgan 8% $Zn/silikalit$da propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining yagona asosiy mahsuloti propilendir (5(v)-rasm).

Kislotali va katalitik xususiyatlarning o'zaro bog'liqligi. Ruxni o'z ichiga olgan va kislotali yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitlarida

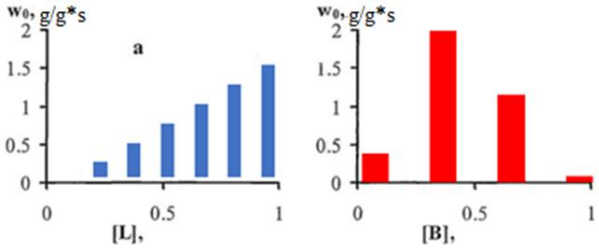
(E) ISSN: 3030-3214
Volume 2, № 4-1
2024

propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tezligini taqqoslash (9-rasm) rux bilan modifikatsiya qilish konversiyaning dastlabki bosqichlarida katalizator faolligini sezilarli darajada oshirishga olib kelishini ko‘rsatdi.



6-rasm. YUKS tipidagi kislotali va Zn ni o‘z ichiga olgan yuqori kremniyli mezog‘ovakli seolitlarda propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining boshlang‘ich tezligi $(g/g \cdot soat)$.

6-rasmdan ko‘rinib turibdiki, dastlabki tezliklar va kislota markazlari konsentratsiyasi o‘rtasida hech qanday bog‘liqlik topilmadi. Aksincha, Lyuis kislotasi markazlari soni bilan chiziqli korrelyatsiya kuzatildi. Shunday qilib, propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida asosiy rolni ruxni o‘z ichiga olgan L-markazlarida sodir bo‘lishini ko‘rsatdi.



7-rasm. Propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tezligining Lyuis (a) va Brensted (b) kislota markazlarining nisbiy konsentratsiyasiga bog‘liqligi.

Xulosa. Propanni $H-YUKS-30,2\%Cu*8\%Zn/H-YUKS-30$ va $8\%Zn/silikalit$larga aylantirish jarayonida mahsulotlarning turli guruhlari uchun unumdorlikning konversiyaga bog‘liqligi aniqlandi.

$2\%Cu*8\%Zn/H-YUKS-30$ uchun asosiy hissa aromatik uglevodorodlar va etandir. 8%Zn/silikalit namunasida amalda yagona mahsulot propilen bo‘lib, mahsulotlarning boshqa barcha guruhlari kam miqdorda mavjud aniqlandi.

Uglevodorodlarning metall saqlovchi yuqori kremniyli mezog‘ovakli seolit katalizatorlarida o‘zgarishida degidrogenlanish va gidrogenoliz jarayonlari bir-biri bilan birga kechadi va bir xil katalitik markazlarda sodir bo‘ladi.

Propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida asosiy rolni ruxni o‘z ichiga olgan L-markazlarida sodir bo‘lishini ko‘rsatdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Su, X.; Wang, G.; Bai, X.; Wu, W.; Xiao, L.; Fang, Y.; Zhang, J. synthesis of nanosized HZSM-5 zeolitesisomorphously substituted by gallium and their catalytic performance in the aromatization. Chem. Eng. J. 2016, 293, 365–375.
2. Choudhary, V.R.; Sivadinarayana, C.; Kinage, A.K.; Devadas, P.; Guisnet, M. H-Gallosilicate (MFI) propane aromatization catalyst Influence of calcination temperature on acidity, activity and deactivation due to coking. Appl. Catal. A Gen. 1996, 136, 125–142.
3. Montes, A.; Giannetto, G. A new way to obtain acid or bifunctional catalysts: V. Considerations on bifunctionality of the propane aromatization reaction over [Ga,Al]-ZSM-5 catalysts. Appl. Catal. A Gen. 2000, 197, 31–39.
4. Rodrigues, V.O.; Faro Júnior, A.C. On catalyst activation and reaction mechanisms in propane aromatization on Ga/HZSM5 catalysts. Appl. Catal. A Gen. 2012, 435, 68–77.
5. Choudhary, V.R.; Kinage, A.K.; Sivadinarayana, C.; Devadas, P.; Sansare, S.D.; Guisnet, M. H-Gallosilicate (MFI) Propane Aromatization Catalyst: Influence of Si/Ga Ratio on Acidity, Activity and Deactivation Due to Coking. J. Catal. 1996, 158, 34–50.